

## АНИЗОТРОПИЯ ДЕФОРМАЦИИ МЕДИ В СОВМЕЩЕННОМ ПРОЦЕССЕ ЛИТЬЯ – ПРОКАТКИ

### DEFORMATION ANISOTROPY OF COPPER IN THE COMBINED PROCESS OF CASTING - ROLLING

Логинов Ю.Н., Мысик Р.К., Брусницын С.В., Сулицин А. В., Романов В.А.

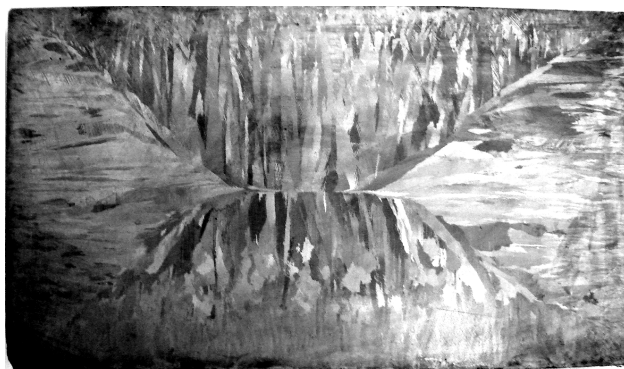
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, unl@mtf.ustu.ru

ЗАО СП «Катур-Инвест»

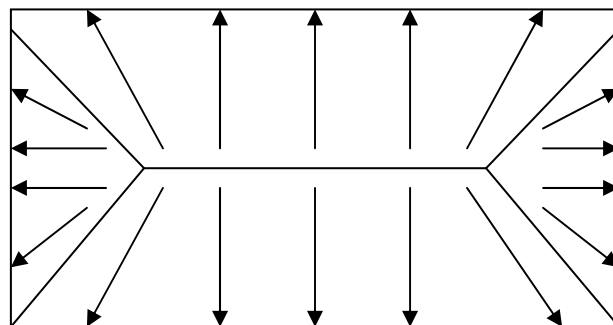
Anisotropy of deformation of copper in the combined process of casting – rollings is studied. It is revealed, metal shows anisotropic properties at impact on a dendrite perpendicular to its axis and doesn't show anisotropic properties at impact on a dendrite along its axis.

Большое количество меди перерабатывается в длинномерную заготовку в процессах "Contirod", включающих непрерывное плавление медных катодов марки М00к в шахтной печи, разливку и прокатку полученной заготовки с получением медной катанки на 14-клетьевом прокатном стане. Процесс кристаллизации металла на литейной машине "Хазелетт" характеризуется отводом тепла от расплава через две ленты и цепь

блоков кристаллизатора. Таким образом, теплоотвод осуществляется в четырех направлениях, в этих же направлениях осуществляется рост кристаллов меди, что создает текстуру литья (рис. 1). Поставлена задача - исследовать влияние текстуры литья на характер последующего пластического течения металла.



а



б

Рис. 1. Темплет заготовки (а) и направления отвода тепла (б) от расплава металла при кристаллизации прямоугольного слитка

Методика исследования заключалась в изготовлении поперечных темплетов непрерывнолитой полосы, имеющей размеры 120x70 мм, вырезки из различных частей темплетов образцов кубической формы с длиной ребра куба 15...17 мм, испытания их на сжатие в различных направлениях либо на прессе максимальным усилием 500 кН, либо на молоте.

При испытании на прессе назначали направление сжатия, на контактную поверхность наносили смазку в виде смеси чешуйчатого графита и солидола, образец размещали на полированных бойках и сдавливали плитами пресса, пошагово останавливая при достижении нагрузки 40, 80, 120 и 160 кН. После каждой остановки образец вынимали, очищали от смазки, измеряли геометрические параметры, смазывали и вновь нагружали.

Для каждой ступени рассчитывали относительное обжатие  $\square$  и относительное изменение размеров  $L_0/L_i$ ,  $B_0/B_i$ ,  $H_0/H_i$ .

Фотография контуров темплета литой заготовки и образцов, сжатых вдоль оси литья, представлена на рис. 2. Образцы расположены напротив мест их вырезки: середина нижней части, прилегание к угловой части и середина правой боковой части темплета.

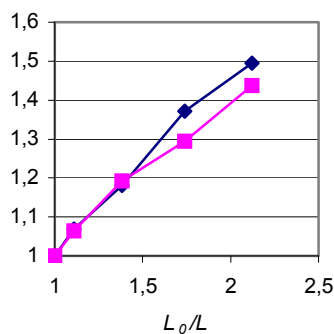
Образцы перед сжатием имели форму квадрата в плане, а после сжатия превратились в несимметричные фигуры. Явно выражена вытянутость образцов вдоль направления роста кристаллов при литье. При этом образцы, прилегающие к вертикальной и горизонтальной сторонам темплета, в плане имеют форму прямоугольника, вытянутого в направлении, перпендикулярном соответствующим сторонам темплета. Угловой образец в плане трансформировался из квадрата в косоугольный четырехугольник с вытягиванием одной из диагоналей ее оси.



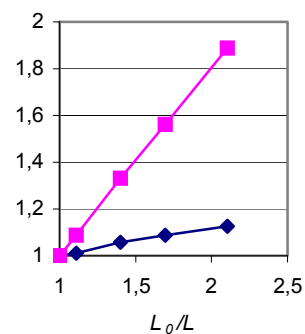
Рис. 2. Контур темплетта литой заготовки и контуры образцов, подвергнутых сжатию вдоль оси литья

Выявлено, что преимущественное пластическое течение наблюдается вдоль оси дендритов во всех случаях измерений. Наибольшее различие удлинений (89 против 13 %) выявлено для

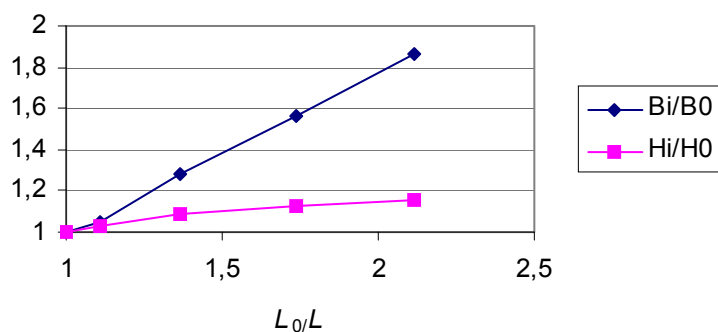
образца, примыкающего к середине нижней части темплетта. Наименьшая разница выявлена для образца в угловой части темплетта (52 против 26 %).



а



б



в

Рис. 3. Графики изменения относительных размеров образцов при сжатии вдоль длины литой заготовки для образцов Н1 – нижний угловой, Н3 – нижний срединный, С1 – срединный по высоте левый

Из графиков видно, что показатели уширения и удлинения для образца Н1 практически совпали, образец Н3 интенсивно удлиняется вдоль высоты, а образец С1, наоборот, интенсивно удлиняется вдоль ширины литой заготовки. При этом разница в формоизменении образцов

значительная и достигает 40...50 %, что свидетельствует о высокой степени анизотропии.

Несмотря на совпадение хода кривых для образца Н1 по его форме из фотографии видно, что неоднородность деформации характерна и для этого случая сжатия. Просто в этом случае

направления измерений не совпали с направлениями роста кристаллов. Поэтому для образца Н1 было решено измерить максимальный размер вдоль диагонали и вычислить деформацию относительно размера исходной диагонали.

Аналогичные расчеты были выполнены для образцов С1 и Н3 с привязкой к направлению роста дендритов. Результаты измерений представлены на рис. 4.

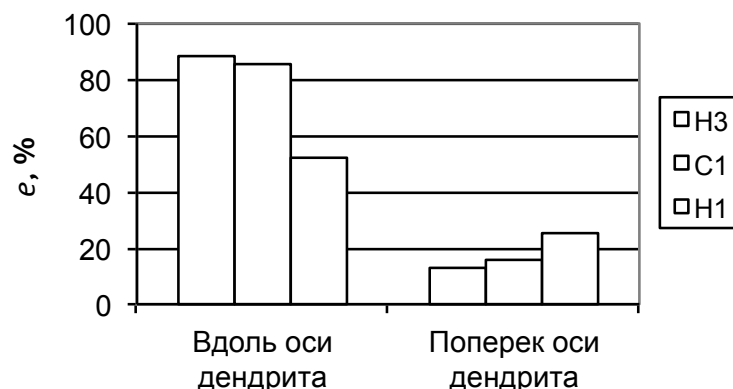


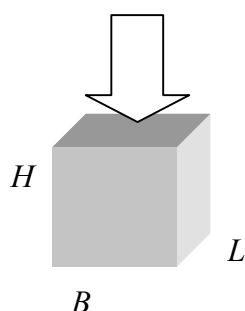
Рис. 4. Зависимость относительной деформации от направления измерений

Установлена значительная анизотропия пластического течения в холодном состоянии, что не означает наличия такого же явления для металла в горячем состоянии, т.е. в состоянии сортовой прокатки. Трудность проведения испытания в горячем состоянии заключалась в том, что во время сжатия с относительно невысокой скоростью деформации металл подвергается динамической рекристаллизации, которая переводит его в изотропное состояние, что не дает возможности оценить влияние текстуры. Поэтому принято решение подвергнуть образец деформации с большой скоростью нагружения на молоте с тем, чтобы не дать возможности протекания процессов динамической рекристаллизации. Применили молот с массой падающих частей 250 кг. Образец нагревали в силитовой печи в течение 5 мин, загружали в разогретый до той же температуры термос, переносили на молот, вынимали образец из

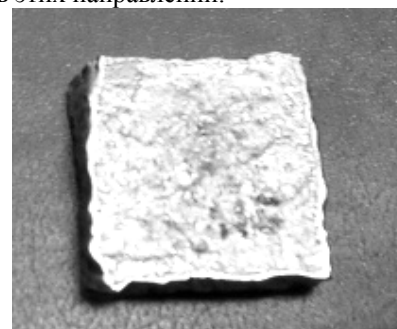
термоса, располагали на нижнем бойке и осуществляли один удар верхним бойком.

Выявили, что форма образца, в основном, повторяет форму образца, деформированного в режиме холодного сжатия, поэтому при анализе горячей прокатки можно пользоваться выводами, полученными при холодной деформации.

В следующей серии опытов изменили направление приложения силы при испытаниях (рис. 5). На срединный образец нижнего яруса воздействовали в направлении высоты литой заготовки, т.е. в направлении роста дендритов. На фотографии видны искажения боковых поверхностей, которые образовались из-за неоднородного течения каждого из дендритов, но в целом соотношение сторон образца оказалось близко к единице, вдоль длины заготовки удлинение составило 44,2 %, а вдоль ширины 44,4 %, что свидетельствует об одинаковом уровне свойств вдоль этих направлений.



а



б

Рис. 5. Направление деформации сжатия образца Н5 (а) и форма в плане кубического образца после деформации (б) вдоль оси дендрита

силой, направленной вдоль ширины заготовки, т.е. в направлении, перпендикулярном оси роста

дендритов. Результаты этого опыта представлены на рис.6.

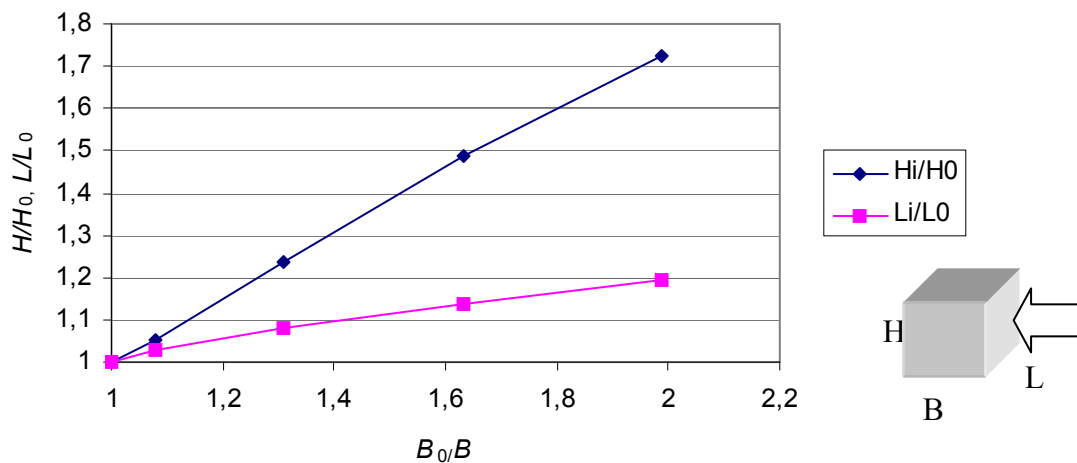


Рис. 6. Изменение размеров образца при сжатии вдоль ширины литой заготовки

Из графиков видно, что изменения размеров заготовки по двум ортогональным направлениям неодинаковы: преимущественное пластическое течение осуществляется вдоль оси дендрита. При этом относительные удлинения равны 20 % в направлении ширины дендрита и 73 % в направлении его длины.

Как видно из предыдущих опытов, металл проявляет анизотропные свойства при воздействии на дендрит перпендикулярно его оси и не проявляет анизотропных свойств при воздействии на дендрит вдоль его оси.

В целом, выполненное исследование показало, что в литом состоянии в заготовке наблюдается текстура литья, которая оказывает влияние на характер последующего формоизменения, что необходимо учитывать, например, при калибровке валков прокатных станов.